

**ELABORACIÓN DE LA RED GEODÉSICA DE TERCER ORDEN DEL CAMPUS DE LA
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA-CAJICÁ, CON LA ACTUALIZACIÓN
DEL MARCO GEOCÉNTRICO NACIONAL DE REFERENCIA (RESOLUCIÓN 715 DE
2018 IGAC).**



PAOLA ESTEFANY VÁSQUEZ DUARTE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

Director:
JAVIER CONTRERASGUERRERO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ, DICIEMBRE DE 2018**



ELABORACIÓN DE LA RED GEODÉSICA DE TERCER ORDEN DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA-CAJICÁ, CON LA ACTUALIZACIÓN DEL MARCO GEOCÉNTRICO NACIONAL DE REFERENCIA (RESOLUCIÓN 715 DE 2018 IGAC).

Paola Estefany Vásquez Duarte
Universidad Militar Nueva Granada
Especialización en Geomática
Correo-e: paolavasquez001@gmail.com

RESUMEN

Las redes geodésicas son de vital importancia en la localización y especialización de cualquier sitio debido a que es el principal componente para una correcta posición para cualquier tipo de estudio previo, en este caso la Universidad Militar Nueva Granada Campus Cajicá carece de una materialización óptima de puntos geodésicos los cuales servirán para realizar la cartografía básica y temática de la zona, también serán utilizados en la parte civil como puntos de referencia para las construcciones que se están realizando, además de ser de gran utilidad para las prácticas de los estudiantes de la Especialización en Geomática e Ingeniería Civil. Dichos puntos serán ligados a la actualización del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia citado en la resolución 715 de 2018 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi donde se especifica como marco de referencia al ITRF 2014 (International Terrestrial Reference Frame) y como época de referencia 2018.0.

Palabras clave: Red geodésica, Magna-Sirgas, ITRF, Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, materialización, Campus Universidad Militar Nueva Granada-Cajicá, Planos Topográficos Locales.

ELABORATION OF THE THIRD ORDER GEODETIC NETWORK OF THE CAMPUS OF THE NUEVA GRANADA-CAJICÁ MILITARY UNIVERSITY, WITH THE UPDATE OF THE NATIONAL REFERENCE GEOCENTRIC FRAMEWORK (RESOLUTION 715 OF 2018 IGAC)

ABSTRACT

The geodesic networks are of vital importance in the location and specialization of any site because it is the main component for a correct position for any type of previous study, in this case the Military University New Granada Campus Cajicá lacks an optimal materialization of points geodesic which will serve to perform the basic and thematic cartography of the area, will also be used in the civil part as points of reference for the constructions that are being made, besides being of great utility for the practices of the students of the Specialization in Geomatics and Civil Engineering. These points will be linked to the update of the National Geocentric Reference Framework cited in resolution 715 of 2018 of the Agustín Codazzi Geographic Institute, where the reference frame is the ITRF 2014 (International Terrestrial Reference Frame) and as reference period 2018.0

Keywords: Geodetic network, Magna-Sirgas, ITRF, National Geocentric Reference Framework, materialization, Campus Universidad Militar Nueva Granada-Cajicá, Local Topographic Plans



1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Militar Nueva Granada Campus Cajicá fue desarrollada con el fin de ampliar la planta física donde se combine de forma equilibrada los espacios académicos, de investigación culturales y deportivos en torno al paisaje natural de la sabana de Bogotá. Esta sede hoy en día está en construcción, culminando las instalaciones físicas del proyecto, pero actualmente no cuenta con puntos geodésicos que sirvan como referencia para dichas construcciones además que para un ideal desarrollo de la sede y ordenamiento de la misma es indispensable la materialización de puntos de una red geodésica que sirva para el desarrollo de la cartografía del sitio y de esta manera analizar y evaluar proyectos urbanísticos académicos y tecnológicos de la institución.

La red geodésica estará ligada a la actualización del Marco Geocéntrico Nacional, para esto se basaran los cálculos en la resolución 715 del 08 de Junio de 2018 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018) y con respecto a la materialización física de los puntos y la determinación del grado de calidad de los vértices medidos con la resolución 1562 del 27 de Septiembre de 2018 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018) del cual se concluyó que la red corresponde a puntos de control horizontal de orden tres, ambas resoluciones expedidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

En el presente documento se explicará cómo se elaboró una red geodésica horizontal de tercer orden compuesta por 9 puntos distribuidos de forma equitativa por las 78 hectáreas del Campus Cajicá amarrados a la actualización del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, desde su planeación, materialización y calculo (post-proceso) obteniendo un producto geodésico de excelente calidad que puede ser utilizado para diferentes proyectos internos y externos de la universidad, como también para uso académico e investigativo para los futuros estudiantes de los programas como Especialización en Geomática e Ingeniería Civil; de igual manera se pretende exponer los procesos matemáticos de ajuste y los resultados en cuanto a coordenadas planas haciendo uso de un plano topográfico local proyectado especialmente diseñado para la zona en estudio, errores y precisiones obtenidas.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan conceptos y teoría básicos, los cuales deben ser manejados con el fin de entender los temas tratados en el presente artículo. Esta información fue recolectada y sintetizada por diferentes fuentes bibliográficas.

2.2 REDES GEODÉSICAS

Una Red Geodésica es un conjunto de puntos convenientemente materializados sobre el terreno, mediante monumentaciones adecuadas, entre los que se ha efectuado observaciones geodésicas con la finalidad de obtener sus coordenadas (y su variación) respecto a un determinado sistema de referencia, así como su precisión y fiabilidad en términos absolutos y relativos.

Desde un punto de vista clásico, constituye una red continua desarrollada a lo largo de meridianos y paralelos y que, de una manera uniforme y homogénea, cubre la totalidad de una zona de trabajo, una región, un país o todo el globo terrestre.

Una vez proyectada, construida, observada, calculada y compensada, una red geodésica constituye la materialización del sistema de referencia y como tal marco de referencia, sirve de apoyo a las labores topográficas y cartográficas. (Universidad Politécnica de Madrid, 2015)

2.2.1 REDES PLANIMÉTRICAS U HORIZONTALES

Conjunto de puntos determinados mediante posicionamiento basado en GNSS o técnicas electro-ópticas topográficas. Su objetivo primario es proveer coordenadas horizontales de referencia p. ej. Latitud y Longitud, coordenadas de proyección cartográficas Gauss-Kruger, coordenadas planas cartesianas locales, etc. Los puntos determinados con GNSS proveen de la latitud y longitud, la altura elipsoidal asociada al mismo elipsoide de referencia (X,Y,Z), de allí que estos se denominen también como puntos tridimensionales. Sus precisiones y órdenes se definen a partir de las directrices del Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (IERS). (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018)



2.3 SISTEMA DE REFERENCIA

Un sistema de referencia geodésico es un modelo matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre.

Deben distinguirse los llamados sistema locales que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto Datum, y los sistemas globales cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X,Y,Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro del planeta. Para definir las coordenadas geodésicas (Latitud, Longitud y Altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. Esta es una definición rigurosa pero abstracta, pues tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica. (Boucher, 1997)

El sistema de referencia se realiza por puntos del **marco de referencia** materializados por monumentos o instrumentos.

Todos los puntos de la superficie terrestre se mueven por deformaciones de la corteza terrestre, las coordenadas del marco de referencia se refieren a un época fija (de referencia), por ende las coordenadas de los puntos varían con el movimiento, pero las coordenadas con la misma época de referencia no deben cambiar.

Las coordenadas deben darse en la época de referencia, hay que reducirlas del momento de la medición a la época de definición, por ende en un procesamiento GPS correcto las coordenadas de los puntos terrestres de los satélites GPS tiene que darse en el mismo sistema de referencia; las coordenadas de los satélites (efemérides) están dadas en el ITRF (International Terrestrial Reference Frame) en la época actual, mientras que las coordenadas de los puntos terrestres se da e u sistema de referencia asociado a la época de definición.

Para tener el mismo sistema hay que transformar las coordenadas de los puntos desde la época de definición hasta la época actual de medición. La Transformación incluye el cambio de sistema ITRF y movimientos de los puntos. (Hermann Drewes, 2004)

2.4 CAMBIO DE MARCO

Debido al comportamiento dinámico de la tierra en el tiempo (principalmente desplazamiento de las

placas tectónicas y efectos locales o regionales), las redes geodésicas acusan efectos de distorsión, ya que la posición de los puntos en el marco de referencia se mantiene fija conforme a la época oficial, en tal que la superficie terrestre se mueve.

Esto hace necesario la actualización del marco geodésico a una época de referencia reciente, con el objetivo de mejorar la consistencia de las redes y minimizar las distracciones acumuladas en el tiempo. Adicional a lo anterior también permitirá:

- ✓ Obtener coordenadas de mayor precisión
- ✓ Garantizar solución estable
- ✓ Evitar obsolescencia del Marco Geodésico Nacional
- ✓ Comparar y estandarizar resultados en el ámbito internacional

Los elementos que intervienen en la transformación de coordenadas de vértices pasivos son: el modelo matemático del IERS, épocas de referencia (Fuentes y Destino) y el Modelo Global de Movimiento de la Placa.

El modelo matemático del IERS se basa en la transformación de Helmert, el cual se muestra continuación.

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Donde;

X,Y,Z son las coordenadas en el marco de origen
XS,YS,ZS con las coordenadas a obtener en el marco de destino

T1,T2,T3 son los parámetros de Traslación

R1,R2,R3 son los parámetros de Rotación

D es el parámetro de Escala.

Es importante señalar que el modelo del IERS establece que el sentido de la transformación y obtención de coordenadas va entre marcos recientes por ejemplo ITRF2008 a ITRF2005. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2011)

Como ejemplo se muestra a continuación los parámetros de transformación entre ITRF2014 a anteriores ITRF's.



Ilustración 1. Parámetros de Transformación ITRF2014.

Transformation parameters from ITRF2014 to past ITRFs.

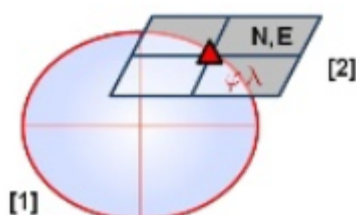
SOLUTION	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	EPOCH
UNITS----->	mm	mm	mm	ppb	.001"	.001"	.001"	
RATES	Tx	Ty	Tz	D	Rx	Ry	Rz	
UNITS----->	mm/y	mm/y	mm/y	ppb/y	.001"/y	.001"/y	.001"/y	
ITRF2008	1.6	1.9	2.4	-0.02	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.0	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2005	2.6	1.0	-2.3	0.92	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.3	0.0	-0.1	0.03	0.00	0.00	0.00	
ITRF2000	0.7	1.2	-26.1	2.12	0.00	0.00	0.00	2010.0
rates	0.1	0.1	-1.9	0.11	0.00	0.00	0.00	
ITRF97	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF96	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF94	7.4	-0.5	-62.8	3.80	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF93	-50.4	3.3	-60.2	4.29	-2.81	-3.38	0.40	2010.0
rates	-2.8	-0.1	-2.5	0.12	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	15.4	1.5	-70.8	3.09	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF91	27.4	15.5	-76.8	4.49	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF90	25.4	11.5	-92.8	4.79	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF89	30.4	35.5	-130.8	8.19	0.00	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	
ITRF88	25.4	-0.5	-154.8	11.29	0.10	0.00	0.26	2010.0
rates	0.1	-0.5	-3.3	0.12	0.00	0.00	0.02	

FUENTE: IERS

2.5 SISTEMAS DE COORDENADAS PROYECTADOS LOCALES

Un sistema de coordenadas proyectado está definido por dos componentes: la parte geográfica que guarda relación con el elipsoide y Datum y la parte Proyectada o sistema de proyección utilizada con los valores adoptados en el origen.

Ilustración 2. Componentes del Sistema Proyectado Local



FUENTE: Vargas, 2012

Técnicamente todo sistema proyectado local debe tener los siguientes elementos:

- ✓ Nombre o Código: Codificación respecto a un estándar o identificación dentro de un esquema.
- ✓ Datum: (elipsoide asociado) permite seleccionar los parámetros y el tipo de transformación en caso de ser requerida.
- ✓ Coordenadas Geodésicas en el Origen: Son las coordenadas del punto de origen

en el Datum adoptado, expresadas en Latitud y Longitud.

- ✓ Proyección: Tipo de proyección utilizada (cilíndrica TM, UTM) o Plana Acimutal; cada proyección tiene una o varias zonas, en las proyecciones locales se define una zona simple.
- ✓ Falso Norte y Falso Este: Son los valores definidos de forma convencional y que se establecen como las coordenadas de inicio en el origen de la proyección.
- ✓ Factor de Escala: Representa la altura a la cual se define el plano de proyección, este factor depende de la elevación media del área de trabajo.
- ✓ Unidades: (m) Para los países que adoptan el Sistema Internacional de Unidades. (Vargas, 2012)

3. MATERIALES Y MÉTODO

En este capítulo se presentará una descripción de los materiales necesarios para realizar el estudio y la metodología desarrollada para alcanzar el objetivo propuesto, realizar la red geodésica desde su planeación, ejecución, desarrollo y posterior calculo conforme a las normas vigentes para el Campus Cajicá de la Universidad Militar.

3.2 MATERIALES

En el presente estudio se tomarán materiales propicios para la elaboración de una red geodésica precisa y confiable, como lo son equipos GPS GNSS doble frecuencia compatibles con los estándares del IGS, Software comercial de post-proceso y ajuste de cálculos geodésicos, Efemérides precisas distribuidas por el IGS, equipo menor necesario para la materialización de los vértices (Placas Topográficas en bronce, arena, cemento, agua formaletas e hierros)

- Equipos GPS GNSS doble frecuencia compatibles con los estándares IGS: **Trimble R8** el cual paseé 440 canales, correlador múltiple de alta precisión para medidas de pseudodistancias GNSS, con una precisión horizontal de 3mm +0.1 ppmnRMS y 3.5 mm +0.04 ppmnRMS y con señales de rastreo de GPS, GLonass, Sbas, Galileo y Beidou (para más especificaciones se anexa ficha técnica en la figura 1 y figura 2); se utilizarán tres (3) equipos uno se quedará estático en el punto



base y los dos restantes serán utilizados como Rober moviéndose a lo largo del diseño de la red, cumpliendo con los tiempos establecidos. Estos equipos fueron dados por la sección de laboratorios de la Universidad Militar Nueva Granada.

Ilustración 3. Especificaciones de Funcionamiento Trimble R8

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO¹

Mediciones

- Chip GNSS topográfico personalizado Trimble Maxwell 6 avanzado con 440 canales
- Asegura la inversión futura a largo plazo con el rastreo Trimble 360
- Correlador múltiple de alta precisión para medidas de pseudodistancia GNSS
- Sin filtrado, datos de medidas de pseudodistancia sin suavizado, para lograr un bajo ruido, pocos errores por trayectoria múltiple, una correlación de dominio de bajo tiempo y respuesta de alta dinámica
- Medidas de fase portadora GNSS de muy bajo ruido con una precisión de <1 mm en un ancho de banda de 1 Hz
- Las razones señal-ruido se señalan en dB-Hz
- Probada tecnología de rastreo de baja elevación de Trimble
- Las señales de satélite actuales se rastrean simultáneamente:
 - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
 - SBAS: L1C/A, L5 (para satélites SBAS compatibles con L5)
 - Galileo: E1, E5A, E5B
 - BeiDou (COMPASS): B1, B2
- SBAS: QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN
- Velocidad de posicionamiento: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, y 20 Hz

FUENTE: Folleto Trimble R8s

Ilustración 4. Rendimiento de Posicionamiento Trimble R8

RENDIMIENTO DE POSICIONAMIENTO²

Posicionamiento GNSS diferencial de código

Horizontal	0,25 m + 1 ppm RMS
Vertical	0,50 m + 1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento SBAS diferencial ³	típico <5 m 3DRMS

Medición GNSS estática

Estática de alta precisión

Horizontal	3 mm + 0,1 ppm RMS
Vertical	3,5 mm + 0,4 ppm RMS

Estática y Estática Rápida

Horizontal	3 mm + 0,5 ppm RMS
Vertical	5 mm + 0,5 ppm RMS

Medición GNSS cinemática con posprocesamiento (PPK)

Horizontal	8 mm + 1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS

Medición cinemática en tiempo real

Línea base simple de menos de 30 km

Horizontal	8 mm + 1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS

RTK de red⁴

Horizontal	8 mm + 0,5 ppm RMS
Vertical	15 mm + 0,5 ppm RMS

Tiempo de inicialización⁵ Típico de <8 segundos

Confiablez en la inicialización⁵ Típica de >99,9%

FUENTE: Folleto Trimble R8s

sección de laboratorios de la Universidad Militar Nueva Granada.

- Efemérides precisas distribuidas por el IGS: Se utilizaran las efemérides precisas (órbitas finales de los satélites para un día en específico) en formato .SP3, el día correspondiente al trabajo en campo es el 28 de Octubre de 2018 lo que significa el día Juliano número 2458419.5, semana GPS 2025 y día del año 301.
- Variación en el tiempo por efectos Geodinámicos (Velocidades), otorgado por el modelo de velocidades SIRGAS: VEMOS 2015
- Ondulación Geoidal de cada punto el cual fue calculado con el modelo Geoidal adaptado para Colombia GEOCOL 2004.
- Equipo menor necesario para la materialización de los vértices:

- ✓ Cemento
- ✓ Arena
- ✓ Mixto
- ✓ Placas Geodésicas en Aluminio

3.3 MÉTODO

Primero se realizó el planteamiento de la red geodésica. Para esto se localizaron los puntos bases, los cuales corresponden a puntos de funcionamiento continuo (Activas). Se utilizaron este tipo de puntos geodésicos ya que conforme a la nueva resolución 715 de 2018 del IGAC donde se actualiza el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS se establece que el Marco internacional de Referencia Terrestre para el país será el ITRF 2014 por lo que al momento de utilizar redes activas ligadas a SIRGAS utilizarán el último ITRF establecido, además de utilizar efemérides precisas de los satélites las cuales contiene la órbitas precisas conforme al sistema Internacional de Referencia Terrestre; por ende no es necesario realizar transformación entre ITRF'S. De caso contrario de utilizar puntos pasivos es necesario utilizar una metodología diferente para transformación de ITRF'S, la cual se sintetizará a continuación.



Ilustración 5. Metodología Para Transformación de ITRF'S en Puntos Pasivos.



FUENTE: Actualización del ITRF para Colombia, IGAC.

Se descargó en archivo KMZ la ubicación de las antenas permanentes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y del Servicio Geológico Colombiano (GEORED) calculando las distancias en línea recta a la zona en estudio (Universidad Militar Campus Cajicá) con el fin de determinar el tiempo de rastreo mínimo para cada GPS, partiendo de la premisa de que el tiempo mínimo de rastreo es de 15 minutos contados a partir de la estabilización del equipo y la disponibilidad mínima de 4 satélites, por cada kilómetro de distancia se hacen 5 minutos adicionales y por ultimo no deben existir rastreos menores a 18 minutos; según la División de Geodesia y Cartografía del IGAC.

Con estos cálculos establecidos se determinó que para mejorar la precisión de la red se realizará el cálculo de la posición del punto principal por medio de una doble determinación a lo que se refiere a la determinación de un vértice con el ajuste geodésico de más de una base, para este caso fueron tres bases una perteneciente a GEORED y las otras dos a la red activa del IGAC.

Determinando la posición (Lat,Long,h) del vértice principal se hará un rastreo de mediciones GPS en modo estático rápido diferencial o relativo el cual permite eliminar o minimizar los errores de los receptores GPS, para lo cual se elige un punto de referencia (Con coordenadas conocidas) como estación base la cual será utilizada para determinar el error entre las coordenadas reales y las calculadas mediante el sistema GPS y de esta forma compensar dicho error; con respecto a este punto base se establecen el resto de puntos móviles (Rovers) a los cuales se les desea conocer sus coordenadas, este tipo de levantamientos se caracterizan por tener la línea base corta de forma tal que se pueden minimizar los tiempos de medición. Los receptores móviles grabaran durante un tiempo establecido dependiendo de la longitud a la base principal. Cabe destacar que para dar más precisión al presente trabajo como coordenadas de los puntos estaciones permanentes utilizadas como base se utilizó las soluciones semanales disponibles más cercanas a la fecha de la medición en campo.

La siguiente tabla muestra los tiempos de observación aproximados para diferentes longitudes de líneas bases, trabajando con un sensor de doble frecuencia en latitudes medias y



bajo las condiciones ionosféricas que prevalecen normalmente.

Tabla 1. Tiempo de Medición Aproximado GPS Estático.

Método de Observación	Núm. de sats. GDOP ≤ 8	Longitud de Línea Base	Tiempo de Observación aprox.	
			de día	de noche
Estático Rápido	4 o más	Hasta 5 km	5 a 10 min	5 min
	4 o más	5 a 10 km	10 a 20 min	5 a 10 min
	5 o más	10 a 15 km	20 min o más	5 a 20 min
Estático	4 o más	15 a 30 km	1 a 2 horas	1 hora
	4 o más	Más de 30 km	2 a 3 horas	2 horas

FUENTE: Guía para estático y estático rápido, Leica Geosystem.

Con la red definida se materializa los puntos diseñados, los cuales fueron distribuidos por toda el área del campus Cajicá, manteniendo equilibrio geométrico; para esto se diseñaron unas placas geodésicas en Aluminio con los datos necesarios del proyecto las cuales fueron fundidas en cilindros de concreto, como se muestra en la ilustración 4

Ilustración 6. Amojonamiento de Placas Geodésicas



FUENTE: Propia.

Acto seguido se realizó el posicionamiento de los puntos GPS con los equipos geodésicos doble frecuencia otorgados por la universidad, dejando el punto base con tiempo completo el cual abarque todos los tiempos de los Rober con el fin de poder realizar el Ajuste Diferencial GPS.

Con los datos descargados de cada una de las antenas se convierten a formato RINEX con el fin de hacer más interoperable los datos con cualquier software de ajuste comercial geodésico, en este caso se utilizó el programa Topcon Tools al cual se le cargaron las efemérides precisas del día del posicionamiento (28 de Octubre), las Rinex de cada punto con su correspondiente altura, teniendo en cuenta si la toma fue inclinada (Trípode) o vertical

(bastón), el tipo de antena (Marca, modelo), se le fijan las coordenadas bases de los puntos de control y por último se procesa y ajusta la red, observando las precisiones obtenidas por cada punto. Se realizaron dos redes GPS una compuesta por los puntos continuos de GEORED e IGAC con la cual se calculó la posición del punto Base del Campus, y la otra red está compuesta por los puntos Rober y la el punto Base.

Los datos de precisión obtenidos de la red serán comparados según la resolución 1562 del IGAC "Por medio de la cual se definen los valores que representan la calidad de los puntos medidos en redes geodésicas y levantamientos geodésicos", donde se especifica que los puntos horizontales tendrán las siguientes órdenes de precisión:

- ✓ Puntos de control Horizontal de Orden Cero (0).
- ✓ Puntos de control Horizontal de Orden Uno (1).
- ✓ Puntos de control Horizontal de Orden Dos (2).
- ✓ Puntos de control Horizontal de Orden Tres (3).
- ✓ Puntos de control Horizontal de Orden Cuatro (4).

Cada punto medido debe tener asociados sus respectivos valores de precisión, la que se deriva directamente de los equipos y software con la que fu determinada. En ningún caso la precisión de un punto puede ser superior a la precisión dada por la técnica utilizada (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018).

Para obtener los puntos conforme a la actualización del Marco Geocéntrico Nacional, se obtuvieron las velocidades geodinámicas de la zona en estudio por medio del software MagnaPro 4 el cual utiliza el modelo de velocidades estipulado por SIRGAS Vemos 2015, dichas distancias fueron multiplicadas por el delta del tiempo (Tiempo de Referencia (2018.0)-Tiempo de la Toma (2018.825)) con el fin de encontrar el desplazamiento total que ha sufrido la placa, este resultado fue restado por las coordenadas Geocéntricas del posicionamiento hallando de esta forma las coordenadas en su nuevo Marco de Referencia, esta metodología fue adoptada del documento "Procesamiento de información GPS considerando la variación de las coordenadas en el tiempo (velocidades) por efectos Geodinámicos publicado por la subdirección de



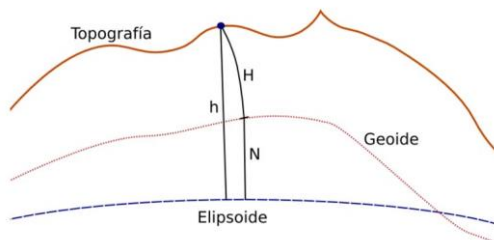
geografía y Cartografía, división de Geodesia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Adicionalmente se utilizó el modelo Geoidal adoptado para Colombia GEOCOL con el fin de obtener una altura ortométrica lo más ajustada posible, para esto se partió de la premisa de:

$$H=h-N$$

Donde H corresponde a la Altura Ortométrica, h a la altura elipsoidal (Coordenada obtenida por Postproceso) y N la ondulación Geoidal, que es la distancia entre el Elipsoide de referencia y el Geoide (Dato obtenido por GEOCOL), en la siguiente ilustración se muestra cada uno de los componentes expuestos con anterioridad.

Ilustración 7. Componentes Altura Ortométrica



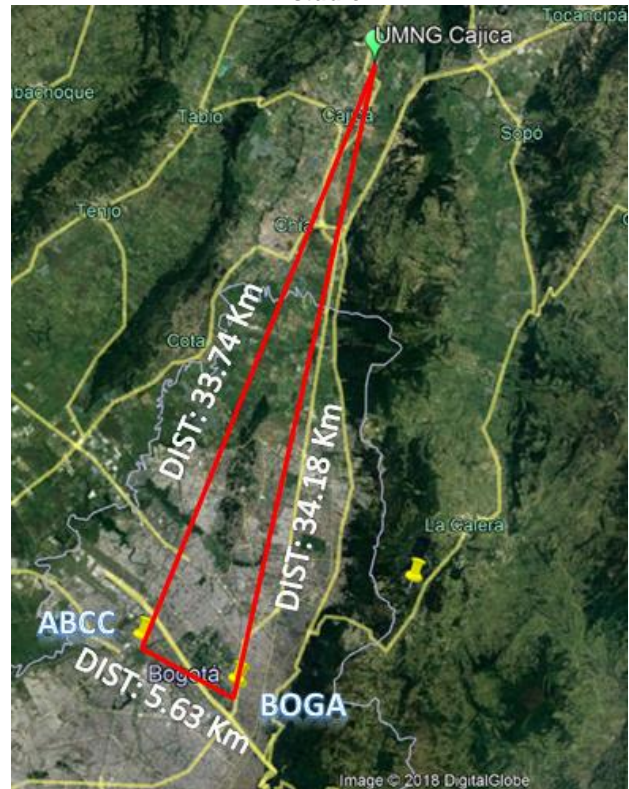
FUENTE: Café Geodesico.com.

3 RESULTADOS

Como resultado final de la metodología antes planteada se obtuvo que las bases activas más cercanas a la zona de estudio son BOGA, ABCC y VZPQ; las dos primeras a cargo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi localizadas en la ciudad de Bogotá y la segunda a cargo del Servicio Geológico Colombiano localizada en el municipio vecino de Zipaquirá en Cundinamarca.

En las ilustraciones 6 y 7 se muestran las distancias entre las estaciones permanentes del IGAC, el Servicio Geológico Colombiano y la zona en estudio, respectivamente.

Ilustración 8. Distancias a Bases IGAC a Zona de Estudio



FUENTE: Google Earth

Ilustración 9. Distancias a Bases IGAC a Zona de Estudio



FUENTE: Google Earth



De lo anterior se concluyó que el tiempo mínimo de rastreo para el punto base es de **3.16 HORAS** tomando de referencia el vector con mayor longitud encontrado el cual corresponde a la base BOGA con 34.18 km, los cuales fueron multiplicados por 5 minutos y se le adiciono 15 minutos para que el receptor GPS soluciones ambigüedades, se establezca y sincronice con los satélites, como se explicó en la metodología.

Con el fin de agilizar la toma de datos la red diseñada planteo un punto base localizado en el centro del Campus y ocho (8) vértices en los vértices del mismo, formado de esta manera una pirámide equilibrada geométricamente (cada vector no sobrepasa el kilómetro de distancia, por lo que el tiempo mínimo de rastreo por punto corresponde a 20 minutos) que tendrá una mejor compensación geodésica, a continuación se muestra un esquema de como quedaron los vértices materializados en el Campus con Coordenadas navegadas.

Ilustración 10. Diseño Red Geodésica Campus Cajicá Universidad Militar Nueva Granada.



FUENTE: Google Earth

El día 28 de Octubre del presente año se realizó el posicionamiento de los vértices anteriormente descritos anotando en formatos adecuados la altura instrumental y el tiempo de inicio y fin de mediciones por cada punto, en las siguientes tablas se registra las alturas verticales, el tiempo de rastreo, el método, semana GPS y el número de épocas.

Tabla 2. Datos de Altura Instrumental.

NOMBRE	ALTURA ANTENA	TIPO DE ALTRA
BASE	1.247	Slant
GPS 1	1.635	Slant
GPS 2	1.556	Slant
GPS 3	1.31	Slant
GPS 5	1.464	Slant
GPS 6	1.18	Slant
GPS 7	1.658	Slant
GPS 8	1.574	Slant
GPS 9	1.588	Slant

FUENTE: Propia.

Tabla 3. Datos de Tiempos de Rastreos.

NOMBRE	TIEPO DE INICIO DEL RASTREO	TIEMPO FINAL DE RASTREO	DURACIÓN
BASE	28/10/2018 9:20	28/10/2018 14:48	5:28:33
GPS 1	28/10/2018 13:09	28/10/2018 13:42	0:32:49
GPS 2	28/10/2018 13:49	28/10/2018 14:27	0:37:34
GPS 3	28/10/2018 10:17	28/10/2018 11:38	1:21:18
GPS 5	28/10/2018 9:36	28/10/2018 10:32	0:56:40
GPS 6	28/10/2018 10:52	28/10/2018 11:22	0:29:55
GPS 7	28/10/2018 11:53	28/10/2018 12:23	0:30:00
GPS 8	28/10/2018 12:09	28/10/2018 12:40	0:31:13
GPS 9	28/10/2018 13:03	28/10/2018 13:35	0:32:07

FUENTE: Propia.

Tabla 4. Datos de Tiempos GPS.

NOMBRE	MÉTODO	SEMANA Y DÍA GPS	N° ÉPOCA
BASE	Static	2025,301	19713
GPS 1	Static	2025,301	1969
GPS 2	Static	2025,301	2254
GPS 3	Static	2025,301	4878
GPS 5	Static	2025,301	3400
GPS 6	Static	2025,301	359
GPS 7	Static	2025,301	1800
GPS 8	Static	2025,301	1873
GPS 9	Static	2025,301	1927

FUENTE: Propia.



Ilustración 11. Formato de Registro de Posicionamiento GPS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		Facultad de Ingeniería		Especialización en Geomática		2018-10	
RED GEODÉSICA CAMPUS CAJICA							
FORMATO DE REGISTRO DE POSICIONAMIENTO GPS							
DATOS DEL PROYECTO							
PROYECTO:				HOJA:			
ENTIDAD:				GRUPO:			
OPERADOR:				FECHA:			
INFORMACION DEL PUNTO							
NOMBRE Y CODIGO DE LA PLACA:				ENTIDAD:		AÑO:	
DEPARTAMENTO:		MUNICIPIO:		TOPONIMIA (LUGAR DE REFERENCIA):			
INFORMACION DE LA SESION							
FECHA:		DIA JULIANO:		HORA INICIO:		HORA FINAL:	
SESION:		A		B		C	
D		E		F		G	
CONFIGURACION DEL RECEPTOR							
ESTADICO		CINEMATICO		STOP&GO		RTK	
BASE		ROVER		INTERVALO:		ARCHIVO:	
EQUIPO		FABRICANTE		MODELO		SERIAL NO	
RECEPTOR		ESTADO		No EQUIPO			
ANTENA		B		R		M	
		1		2		3	
		4		5		6	
		7		8		9	
		10		11		12	
		13		14		15	
		16					
ALTURA DE LA ANTENA (METROS)				DIAGRAMA DE OBSTACULOS SESION			
VERTICE		BASTON		PLASTRA			
SLANT		VERTICAL		SLANT		VERTICAL	
INICIAL:		INICIAL:		INICIAL:		INICIAL:	
FINAL:		FINAL:		FINAL:		FINAL:	
OBSERVACIONES CAMPO				REGISTRO			
				PROYECTO:			
				REVISO:			
				FECHA:			
				APROBO:			
				FECHA:			

Elaboró. Ing. Jairo E Vargas Rev. Ing. Paola E Vásquez Página ____ de ____

FUENTE: Propia.

Ilustración 12. Toma de Datos GPS.



FUENTE: Propia.

Como se muestra en la Tabla 3. Datos de Tiempos de Rastreo. El tiempo mínimo de toma de datos correspondió al GPS 6 con un tiempo de 29 minutos y 55 segundos, el cual supera al tiempo mínimo estimado por el cálculo del diseño de la red (20 minutos), de igual forma el punto Base obtuvo un tiempo de rastreo de 5 horas y 28 minutos

también superando el umbral establecido por el cálculo de distancias a los puntos activos (3.16 horas). Esto nos permite tener cierto grado de confianza y certeza en los datos sin todavía hacer el post-proceso de los datos recolectados.

Para el post-proceso de la primera red de los datos recolectados se buscaron las coordenadas semanales más cercanas disponibles al día del posicionamiento de las estaciones activas que servirán como bases, en la siguiente tabla se muestra las coordenadas geocéntricas con solución semanal utilizadas por el post-proceso del punto central.

Tabla 5. Coordenadas Semanales Estaciones Sirgas.

IBG SOLUTION ALIGNED TO IGS14 - FINAL COMBINATION - WEEK 2020			
NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS GEOCENTRICAS		
	X (M)	Y (M)	Z (M)
ABCC 41939M001	1739437.993	-6117252.45	515065.089
BOGT 41901M001	1744398.882	-6116037.04	512731.892

FUENTE: Sirgas.org

Tabla 6. Coordenadas Semanales GEORED.

ESTAS COORDENADAS SON EL RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS ENTRE OCTUBRE 4 Y OCTUBRE 13 DE 2018			
NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS GEOCENTRICAS		
	X (M)	Y (M)	Z (M)
VZPQ	1753458.406	-6109793.043	554506.428

FUENTE: Geored

Con estas coordenadas, las efemérides precisas del día de la medición y la altura de los receptores GPS se procede a realizar el post-proceso de los datos con el software Topcon Tools, en las tablas 6 y 7 se muestra la precisión obtenida (RMS) y las coordenadas geodésicas y geocéntricas halladas para la época del levantamiento (2018.825).



Tabla 7. RMS Punto Base.

GPS Obs Report					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
ABCC-B ASE	31152.194	12647.618	80.794	0.011	0.021
ABCC-B OGA	2494.734	5214.102	31.055	0.002	0.005
ABCC-V ZPQ	39582.347	15526.016	123.986	0.013	0.026
BASE-B OGA	-33645.798	-7439.161	-68.3	0.011	0.021
BASE-V ZPQ	8429.774	2879.837	3.946	0.005	0.01
BOGA-VZPQ	42076.334	10314.838	163.121	0.013	0.026

FUENTE: Propia

Tabla 8. Coordenadas Procesadas Base.

COORDENADAS MAGNA SIRGAS 2018.825			
BASE			
ϕ	4°56'34.16348N	X	1750888.9110
λ	74°00'46.55362W	Y	-6111280.6614
h (elip)	2584.433	Z	546107.6637

FUENTE: Propia

Con los mismos parámetros utilizados para la red de la Base, pero ahora como punto principal el denominado Base (Coordenadas 2018.825) se realizó el post-proceso de la red geodésica del campus obteniendo como resultado las tablas 9 y 10 correspondientes a la precisión y/o RMS de cada vector generado y las Coordenadas procesadas geodésicas y geocéntricas (ambos en Datum WGS84) halladas para la época en que se realizó el levantamiento.

Tabla 9. RMS Punto Red Geodésica Campus Cajicá UMNG.

GPS Obs Report					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BASE-GPS1	553.895	638.591	402.135	0.019	0.030
BASE-GPS2	386.867	-72.867	-0.248	0.001	0.001
BASE-GPS3	411.486	228.675	5.975	0.001	0.001
BASE-GPS5	39.404	294.498	1.831	0.001	0.002
BASE-GPS6	309.027	370.387	1.036	0.009	0.014
BASE-GPS7	300.168	264.766	-0.591	0.001	0.001

GPS Obs Report					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BASE-GPS8	178.722	563.594	-1.969	0.002	0.003
BASE-GPS9	181.546	394.045	-2.401	0.001	0.003
GPS1-GPS9	334.895	124.676	1.307	0.002	0.003
GPS3-GPS5	372.084	-65.82	-4.169	0.001	0.001
GPS3-GPS6	720.514	141.707	-4.979	0.001	0.002
GPS7-GPS8	121.438	298.82	-1.393	0.002	0.003

FUENTE: Propia

Tabla 10. Coordenadas Procesadas Red Geodésica Campus Cajicá UMNG.

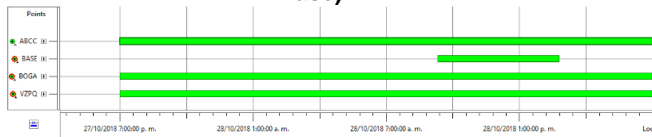
COORDENADAS MAGNA SIRGAS 2018.825			
GPS 1			
Φ	4°56'17.35761N	X	1751398.7992
Λ	74°00'29.72319W	Y	-6111176.9831
h (elip)	2580.729	Z	545592.8211
GPS 2			
Φ	4°56'21.57419N	X	1750827.9743
Λ	74°00'48.91787W	Y	-6111332.5365
h (elip)	2584.197	Z	545722.2135
GPS 3			
Φ	4°56'47.55385N	X	1750660.9551
Λ	74°00'53.97327W	Y	-6111315.2831
h (elip)	2590.426	Z	546518.1338
GPS 5			
Φ	4°56'35.44574N	X	1750605.3698
Λ	74°00'56.10895W	Y	-6111360.2618
h (elip)	2586.271	Z	546147.0793
GPS 6			
Φ	4°56'24.10721N	X	1750540.4672
Λ	74°00'58.57117W	Y	-6111409.2617
h (elip)	2585.487	Z	545799.8747
GPS 7			
Φ	4°56'43.93142N	X	1751136.1511
Λ	74°00'37.96297W	Y	-6111182.3109
h (elip)	2583.855	Z	546406.6649
GPS 8			
Φ	4°56'39.97963N	X	1751425.9123
Λ	74°00'28.26738W	Y	-6111108.7272
h (elip)	2582.47	Z	546285.5591
GPS 9			
Φ	4°56'28.25565N	X	1751271.3653
Λ	74°00'33.76842W	Y	-6111184.8710
h (elip)	2582.047	Z	545926.586

FUENTE: Propia



Para dar una mejor explicación del desarrollo del post-proceso se anexa a continuación los diagramas de tiempo y los vectores generados y ajustados para las dos redes ya expuestas.

Ilustración 13. Diagrama de Tiempo Red 1 (Punto Base).



FUENTE: Propia

Ilustración 14. Diagrama de Tiempo Red Campus.

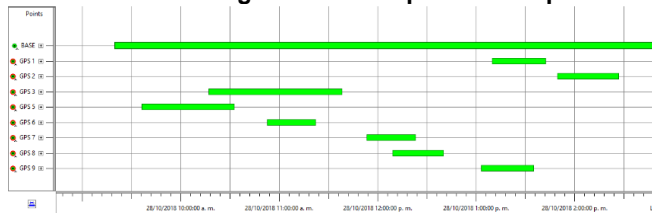
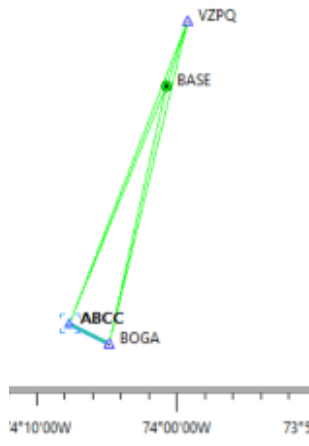
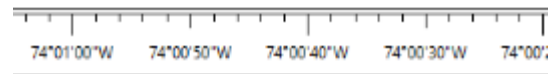


Ilustración 15 Vectores Red 1 (Punto Base).



FUENTE: Propia

Ilustración 16 Vectores Red Cajicá.



FUENTE: Propia

Como se puede evidenciar en la tabla 7 el error máximo en los vectores generados es de 0.013m en horizontal y 0.026m en vertical para la Red del punto Base (principal); de la tabla 9 se sintetiza que el error máximo entre vectores corresponde a 0.19m en horizontal y 0.30m en vertical para la red geodésica interna del Campus Cajicá UMNG.

De lo anterior se puede inferir que con respecto a la resolución 1562 del IGAC los puntos expuestos en el presente artículo son **puntos de control de orden tres** puesto que según la citada norma esta orden corresponde a puntos procesados con software comercial, pero utilizado efemérides precisas distribuidas por el IGS, dichos puntos deben tener una precisión absoluta máxima de $\pm 0.060\text{m}$, con tiempo de rastreo entre 2h y 8 h, en el caso de que el punto sea parte de una red con múltiples puntos, las observaciones deberán realizarse de forma simultánea, se debe utilizar equipos doble frecuencia (geodésicos) compatibles con los estándares del IGS.

Con el fin de acatar la nueva resolución del IGAC por medio de la cual se actualiza el nuevo marco geocéntrico nacional de referencia (Resolución 715 del 2018) se realizó el cambio de época de 2018.825 a 2018.0, para esto se consultaron los desplazamientos geodinámicos de la zona en estudio con el modelo de velocidades Vemos 2015, continuación se muestran los desplazamientos en metros/ año.



Tabla 11. Desplazamientos Geodinámicos de la Zona.

MOVIMIENTO DE LA PLACA SEGÚN MODELO SIRGAS	
Δx	-0.0011
Δy	0.0012
Δz	0.0103

FUENTE: Vemos 2015

Con estos desplazamientos hallados se calcularán los puntos en época 2018.0, esta operación se hace directamente en las coordenadas geocéntricas con el fin de no perder precisión en el proceso. En la siguiente tabla se evidencian las coordenadas geodésicas y geocéntricas (ambas en Datum WGS 84) en época 2018.0.

Tabla 12. Coordenadas Procesadas Red Campus Cajicá UMNG Época 2018.0.

COORDENADAS MAGNA SIRGAS 2018.0			
BASE			
ϕ	4°56'34.16314N	X	1750888.9121
λ	74°00'46.55360W	Y	-6111280.6626
h (elip)	2584.434	Z	546107.6534
GPS 1			
ϕ	4°56'17.35728N	X	1751398.8003
λ	74°00'29.72317W	Y	-6111176.9843
h (elip)	2580.73	Z	545592.8108
GPS 2			
ϕ	4°56'21.57385N	X	1750827.9754
λ	74°00'48.91785W	Y	-6111332.5377
h (elip)	2584.197	Z	545722.2032
GPS 3			
ϕ	4°56'47.55352N	X	1750660.9562
λ	74°00'53.97324W	Y	-6111315.2843
h (elip)	2590.426	Z	546518.1235
GPS 5			
ϕ	4°56'35.44541N	X	1750605.3709
λ	74°00'56.10893W	Y	-6111360.2630
h (elip)	2586.271	Z	546147.0690
GPS 6			
ϕ	4°56'24.10687N	X	1750540.4683
λ	74°00'58.57114W	Y	-6111409.2629
h (elip)	2585.487	Z	545799.8644
GPS 7			
ϕ	4°56'43.93109N	X	1751136.1522
λ	74°00'37.96295W	Y	-6111182.3121
h (elip)	2583.855	Z	546406.6546
GPS 8			
ϕ	4°56'39.97929N	X	1751425.9134
λ	74°00'28.26736W	Y	-6111108.7284
h (elip)	2582.47	Z	546285.5488

GPS 9			
ϕ	4°56'28.25531N	X	1751271.3664
λ	74°00'33.76839W	Y	-6111184.8722
h (elip)	2582.047	Z	545926.5757

FUENTE: Propia

Con el fin de manejar coordenadas planas proyectadas en el campus se definió un sistema de coordenadas propio para la zona el cual corresponde al sistema proyectado local de Cajicá-2010 desarrollado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se escogió este sistema por las grandes ventajas que este representa a la hora de mediciones en campo y representaciones cartográficas a gran escala, esto debido a que es una proyección acimutal referidas a la elevación media de la zona de estudio, diferente a las coordenadas planas de Gauss referidas al elipsoide de referencia (Factor de escala 1), lo que genera mayor precisión en distancias y áreas entre más cerca este al punto origen de la proyección. Además se determinó la ondulación Geoidal de la zona para determinar la altura ortométrica (Geocol). A continuación se muestra los parámetros de la proyección local Cajicá y la ondulación geoidal obtenida por el modelo Geocol.

Tabla 13. Parámetros Proyección Cajicá-2010.

PARAMÉTROS PROYECCIÓN PLANA CARTESIANA ORIGEN CAJICÁ 2010	
DATUM	WGS 84
COORDENADAS GEODESICA ORIGEN	4°55'12.000N 74°01'33.000W
PROYECCIÓN	PLANA ACIMUTAL
FALSO NORTE	1035806.601
FALSO ESTE	1005731.335
PLANO DE PROYECCION	1005731.335

FUENTE: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Tabla 14. Ondulación Geoidal de la Zona.

ONDULACIÓN GEOIDAL
25.4

FUENTE: Geocol 2004.

Con los parámetros antes mencionados se realizó la transformación de coordenadas de Geocéntricas época 2018.0 a planas cartesianas origen Cajicá-2010, obteniendo de esta forma las coordenadas de la red geodésica de tercer orden del campus



Cajicá UMNG actualizadas según la nueva resolución 715 del IGAC.

Tabla 15. Coordenadas Finales Red Geodésica.

COORDENADAS MAGNA SIRGAS 2018.0 PLANAS CARTESIANAS ORIGEN CAJICÁ-2010	
BASE	
NORTE	1038331.466
ESTE	1007162.822
H (Geocol)	2559.034
GPS 1	
NORTE	1037815.038
ESTE	1007681.553
H (Geocol)	2555.330
GPS 2	
NORTE	1037944.599
ESTE	1007089.963
H (Geocol)	2558.797
GPS 3	
NORTE	1038742.945
ESTE	1006934.140
H (Geocol)	2565.026
GPS 5	
NORTE	1038370.865
ESTE	1006868.324
H (Geocol)	2560.871
GPS 6	
NORTE	1038022.433
ESTE	1006792.443
H (Geocol)	2560.087
GPS 7	
NORTE	1038631.638
ESTE	1007427.581
H (Geocol)	2558.455
GPS 8	
NORTE	1038510.208
ESTE	1007726.403
H (Geocol)	2557.070
GPS 9	
NORTE	1038149.929
ESTE	1007556.869
H (Geocol)	2556.647

FUENTE: Propia

4 CONCLUSIONES

La metodología expuesta en el presente documento es aplicable para la actualización de cualquier punto geodésico conforme a la resolución 715 del

IGAC siempre y cuando se utilicen como bases los puntos activos de la red geodésica nacional puesto que estos ya vienen con el último ITRF según SIRGAS, de caso contrario, de utilizar puntos pasivos (mojones) de la red geodésica nacional es necesario realizar transformación entre ITRF'S, que para el caso de Colombia iría de ITRF 94 a ITRF 2014, para esto se utilizan unos parámetros y ecuaciones especificadas por SIRGAS.

Es de vital importancia hacer una correcta planeación de cualquier trabajo geodésico y topográfico puesto que de esto depende el éxito o fracaso del proyecto, para este caso en particular los cálculos correspondientes al tiempo mínimo de rastreo fueron satisfactorios puesto que las precisiones fueron catalogadas en orden tres según la resolución 1562 del IGAC más que todo por su tiempo de rastreo ya que en cuanto a precisión o RMS del levantamiento fue mucho mejor que el estipulado por la mencionada norma (precisión norma máximo 0.04m en horizontal, precisión obtenida en campo 0.019m)

Se logró materializar 9 puntos geodésicos distribuidos por toda el área de la Universidad Militar Nueva Granada sede Cajicá, los cuales servirán de apoyo y referencia para construcciones y/o ampliaciones de la planta física, además de ser un insumo vital para las prácticas de Topografía y Geodesia de los estudiantes de Ingeniería Civil y la Especialización en Geomática.

Las coordenadas finales expuestas en el presente documento son referidas a un sistema de proyección local puesto que es la forma idónea en representar y medir la superficie en estudio al ser una escala grande, si se hubiese decidido utilizar las coordenadas planas de Gauss Krueger origen Central se habría perdido la precisión obtenida por los métodos geodésicos antes expuestos, ya que está proyección al referirse al elipsoide de referencia presenta distorsiones en distancias y áreas por lo que es aconsejable utilizarla para escalas pequeñas, caso contrario con las planas cartesianas (proyección local) que son referidas a la elevación media de la zona en estudio cambiando de esta forma el factor de escala por uno más apropiado.

Se utilizó el modelo gravitacional Geocol 2004 para determinar las alturas ortométricas medidas desde el geoide hasta la superficie de los puntos posicionados, lo que permitió otorgar una altura que



se asemeja a la tomada desde el nivel medio del mar (Datum Vertical Buenaventura).

5 Referencias Bibliográficas

Boucher, C. A. (1997). *International Terrestrial Reference Frame (ITRF97)*. Paris.

Grupo Interno de Trabajo Geodesia. (2017). *Actualización e Implementación del Marco de Referencia Colombiano Magna IRTF 2014*. Bogotá: IGAC.

Hermann Drewes. (2004). *Procesamiento de Información GPS con Relación a Marcos de Referencia de Épocas Diferentes*. Múnich: Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (08 de Junio de 2018). Resolución 715 "Por medio de la cual se actualiza el Marco Geocéntrico Nacional de referencia: Magna-Sirgas". Bogotá, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Tipo de Coordenadas Manejados en Colombia*. Bogotá: IGAC.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (27 de Septiembre de 2018). Resolución 1562 "Por medio de la cual se definen los valores que representan la calidad de los puntos medidos en redes geodésicas y levantamientos geodésicos". Bogotá, Colombia.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). *El cambio de Marco de Referencia Terrestre Internacional*. Ciudad de México.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Procesamiento de Información GPS considerando la Variación de las Coordenadas en el Tiempo (Velocidades) por Efecto Geodinámicos*. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi-Subdirección de Geografía y Cartografía, División de Geodesia. (2004). *Aspectos Prácticos de la Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como Datum Oficial de Colombia*. Bogotá.

International Terrestrial Reference Frame ITRF. (Enero de 2016). *Parámetros de transformación*. Recuperado el 29 de Octubre de 2018, de http://itrf.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt

Leica Geosystem. (2003). *Guía para mediciones en modo Estático y Estático Rápido*. Heerbrugg.

Servicio Geológico Colombiano. (2018). *RED NACIONAL DE ESTACIONES GNSS/GPS CON PROPÓSITOS GEODINÁMICOS*. Bogotá.

SIRGAS. (Octubre de 2018). *Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON*. Recuperado el 26 de Octubre de 2018, de <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/coordinates/weekly-positions/>

Universidad Politécnica de Madrid. (2015). *REDES GEODÉSICAS*. Madrid: UPM.

Vargas, J. E. (2012). Sistemas de Coordenadas Proyectados Locales, Aplicaciones en Ingeniería. *Revista Ingenieros Militares* No.6.